

Finite Element Analysis Technology Application in Studies on CRCP Pavements Subject to Forces

Ming Yang

Zhejiang Provincial No. 1 Water Conservancy & Electric Power Construction Group Holdings Co., Ltd.,
Hangzhou Zhejiang
Email: 457357391@qq.com

Received: Apr. 23rd, 2015; accepted: May 15th, 2015; published: May 20th, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

By engineering examples and the finite element software (ABAQUS), the CRCP-plated road model was established in this article. The response sensitivities to pavement structure parameters were analyzed by adjusting these parameters such as the thickness of CRCP, C35 leveling layer and the ground modulus. The stress effect of the CRCP plates in the different structural designs was investigated to further analyze, verify and optimize the design. It plays an important role in the rapid development of key technologies in continuously reinforced concrete pavement.

Keywords

CRCP, Model, Parameter Analysis, Optimization Design

有限元分析技术在CRCP板路面受力研究中的应用

杨 明

浙江省第一水电建设集团股份有限公司, 浙江 杭州
Email: 457357391@qq.com

收稿日期：2015年4月23日；录用日期：2015年5月15日；发布日期：2015年5月20日

摘要

文章通过工程实例借助ABAQUS有限元软件，建立CRCP板的路面模型，通过调整路面结构系数，包括CRCP层厚度、C35调平层厚度、地基反应模量大小，进行路面结构响应的参数敏感性分析。分析不同结构设计方案对CRCP板受力的影响，进一步探讨分析、验证和优化设计方案，对于今后连续配筋混凝土路面关键技术的高速发展具有重要意义。

关键词

CRCP，模型建立，参数分析，设计优化

1. 引言

连续配筋混凝土路面(CRCP)是高性能混凝土路面的重要类型之一，其纵向连续配置足够数量的钢筋，施工时不设接缝，但在降温和干缩作用下会产生许多横向随机裂缝。由于钢筋的约束作用，CRCP的裂缝能继续保持紧密接触，使裂缝宽度很小，确保了荷载的传递，防止雨水侵入锈蚀钢筋，就如同无缝的路面一样。

CRCP除了具有行车舒适，承载能力高，经久耐用，养护维修少等显著优点外，在某些特殊条件下更能显示出其它路面无法比拟的优越性。此外，AC + CRCP复合式路面结构，以CRCP作为承重层，用沥青混合料面层改善路面的服务性能，既有CRCP路面承载力高，使用寿命长，抗车辙能力强的特性，又有沥青路面行车舒适、噪音小和易养护的优点。

2. 工程概况

湖州市外环北路长田漾大桥现浇桥台采用组合式桥台，承台接墙身、拱座，承台厚2.0 m，直接支承于桩基，桩基直径120 cm，半幅桥一个桥台设置18根桩，桩距横向4.5 m，纵向3.1 m。全桥采用实腹式钢筋混凝土半圆无铰板拱，拱圈宽23.3 m，矢跨比均为1:2；拱圈钢筋除通长配筋外，在跨中底缘、墩顶上下缘均根据计算需要对钢筋进行了加密。拱圈拱脚设C35素混凝土护拱；侧墙顶宽40 cm，外壁与主拱圈平齐，内壁为1:0.2斜坡。拱上填料采用泡沫混凝土，桥面结构层采用C40不等厚素混凝土调坡层+22 cm厚C40连续配筋混凝土，最后铺筑9 cm沥青混凝土。全桥上部结构设计采用Midas空间有限元结构分析软件，下部结构计算采用下部结构综合程序进行计算，并考虑上下部结构的共同作用。

3. 有限元模型的建立

连续配筋水泥混凝土路面有限元建模的应力分析，主要考虑三种材料(混凝土、钢筋和地基)和两种界面(钢筋和混凝土、混凝土板与地基)的特性[1]。本文研究中假设三种材料都是弹性材料，以弹性模量和泊松比表征各自特性即可。

3.1. 地基模型选取

常见的地基模型主要有Winkler地基和弹性半空间地基两类。如果采用弹性半空间地基，则建模过程中需要建立相当厚度的实体模型，这不仅大大增加了计算求解过程中的单元数量，还需花费大量时间进行基层底面与地基顶面的层间接触分析，有可能还会出现计算不收敛的问题。因此，本文仅将CRCP层和

C35调平层建立实体模型，调平层以下各结构层简化为Winkler地基模型，这也符合实际地基的横向联结作用远小于半刚性基层的特点。

3.2. 钢筋和混凝土板之间的界面

连续配筋水泥混凝土路面板是小挠度板，混凝土与钢筋在使用期内长期处于弹性工作阶段，钢筋与混凝土之间不产生滑动。因此，对于钢筋直径较小且分布均匀的CRCP路面来说，可以认为钢筋与混凝土之间的粘结状况是理想粘结，即完全粘结[2]。

3.3. 混凝土板和地基之间的界面

实地观测结果表明，相当长的连续配筋混凝土路面路段中间部分的位移很小。由于浇注过程中混凝土和地基表面之间的握裹结合，认为板翘曲变形时，地基会对板体产生拉力作用。本文主要研究路段中部大部分区段，认为路面板和地基之间不产生相对位移，在弹性半空间地基模型中，假定混凝土与地基之间粘结完全协调。

3.4. 车辆荷载及其分布

行车计算荷载采用规范规定的单轴标准双轮轴载100 kN，胎压为700 kPa。假设车辆轮载均匀分布于接触面上，接触面积的大小与接触压力有关[3]。每个车轮与路面接触的大体形状可由1个矩形和2个半圆形组成，其接触面积为：

$$A_c = \pi \times (0.3L)^2 + (0.4L) \times (0.6L) = (0.09\pi + 0.24)L^2 \quad (1)$$

$$L = \sqrt{\frac{A_c}{0.09\pi + 0.24}} = \sqrt{\frac{F/p}{0.09\pi + 0.24}} \quad (2)$$

式中， L ——轮迹长度，m； F ——单轮轮重；kN； P ——单论胎压；kPa。

为便于计算，将此椭圆形接触面可以进一步简化为等宽的单一矩形($L' \times B$)，则

$$L' = \frac{A_c}{B} = \frac{0.09\pi + 0.24}{0.6} L \quad (3)$$

经计算的 $L' = 0.228$ m， $B = 0.157$ m。考虑到有限元网格划分的简便性以及荷载横向分布的实际情况，单轴双轮荷载横向分布及等效面积如图1所示。

分析中荷载采用单轴双轮100 kN组成标准轴载，荷载作用位置分别为裂缝边缘中部和板角位置。

3.5. 材料参数选取

钢筋选用HRB335螺纹钢，混凝土强度等级C35，如表1所示。

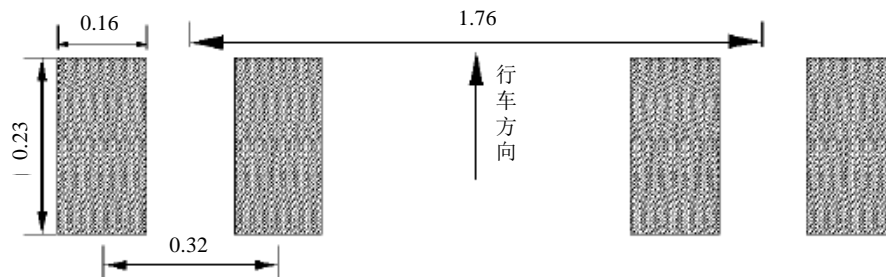


Figure 1. Finite element modeling uniaxial double transverse load distribution and equivalent area map

图 1. 有限元模型单轴双轮荷载横向分布及等效面积示意图

Table 1. Material parameter value
表 1. 材料参数取值

材料	反应模量 $K/\text{MPa}\cdot\text{m}^{-1}$	弹性模量 E/Pa	泊松比 μ	砼抗拉强度和钢筋屈服强度/ MPa	线膨胀系数 α	自重 $\rho/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
混凝土	—	3.1E+10	0.15	3.22	1.1E-5	2.400
钢筋	—	2.0E+11	0.28	335	9.0E-6	7.800
Winkler	2400	—	—	—	—	—

3.6. 有限元模型的确立

因为现有规范设计体系的局限性,参照普通水泥混凝土路面设计CRCP板厚时,需要用到板的平面尺寸,而规范中只含糊说明参照普通水泥混凝土路面设计,因此需要取一个虚拟平面尺寸,比如:长5 m×宽4 m,从CRCP的裂缝间距来看,其横缝间距应小于1.8 m(根据CRCP设计控制指标),而纵缝间距则与施工方式有关,参照维特根滑模摊铺机相关参数,一次摊铺宽度在3.5~16.0 m之间,本项目单幅宽度为23.5 m,将纵向接缝控制在车道分割处,可考虑7.5 m + 7.5 m + 8.5 m的施工方式,因此最大宽度为8.5 m。计算时仍采用长5 m×宽4 m的假定。模型示意图如图2所示。

4. 参数敏感性分析

通过调整路面结构系数,包括CRCP层厚度、C35调平层厚度、地基反应模量,进行路面结构响应的参数敏感性分析。

4.1. CRCP 层厚度影响

选取18 cm、20 cm、22 cm、24 cm、26 cm五种厚度的CRCP板,对比分析CRCP板厚对路面结构力学响应的影响。分析中仅调整面层厚度,其他路面结构参数保持不变。CRCP板的力学响应计算结果如表2所示,变化规律如图3和图4所示。

从以上图表可知:

无论荷载作用在边缘板中还是边缘板角位置,随着CRCP板厚的增大,CRCP板的最大拉应力和最大竖向位移均明显减小。CRCP板厚由18 cm增加到26 cm,边缘板中位置的最大拉应力减小了40.8%、最大竖向位移减小了30.2%;边缘板角位置的最大拉应力减小了27.6%、最大竖向位移减小了28.2%。可见增大CRCP板厚可以明显减小CRCP层的力学响应。

当CRCP板厚达到22 cm时,CRCP层的力学响应符合板的受力要求,同时又相对比较经济。

4.2. C35 调平层厚度影响

选取0 cm、2 cm、4 cm、6 cm、8 cm、10 cm六种厚度的C35调平层,对比分析C35调平层厚度对路面结构力学响应的影响。分析中仅调整C35调平层厚度,其他路面结构参数保持不变。

CRCP板的力学响应计算结果如表3所示,变化规律如图5和图6所示。

从以上图表可知:

无论荷载作用在边缘板中还是边缘板角位置,随着C35调平层厚度的增大,CRCP板的最大拉应力和最大竖向位移均明显减小。C35调平层厚度由0 cm增加到10 cm,边缘板中位置的最大拉应力减小了64.9%、最大竖向位移减小了30.8%;边缘板角位置的最大拉应力减小了65.7%、最大竖向位移减小了27.7%。可见增大C35调平层的厚度可以明显减小CRCP层的力学响应。

当C35调平层厚度为0时,CRCP层的力学响应仍然符合板的受力要求,所以在实际施工中,只需按照最小的构造要求施工即可。

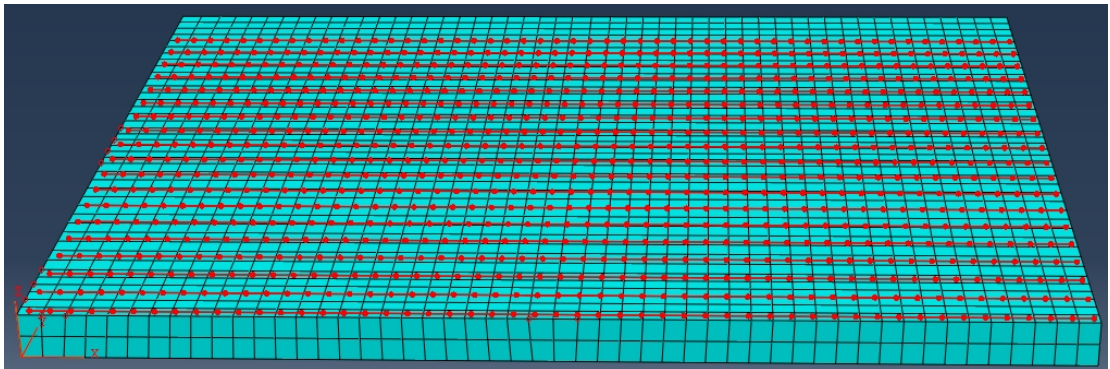


Figure 2. Model schematic diagram
图 2. 模型示意图

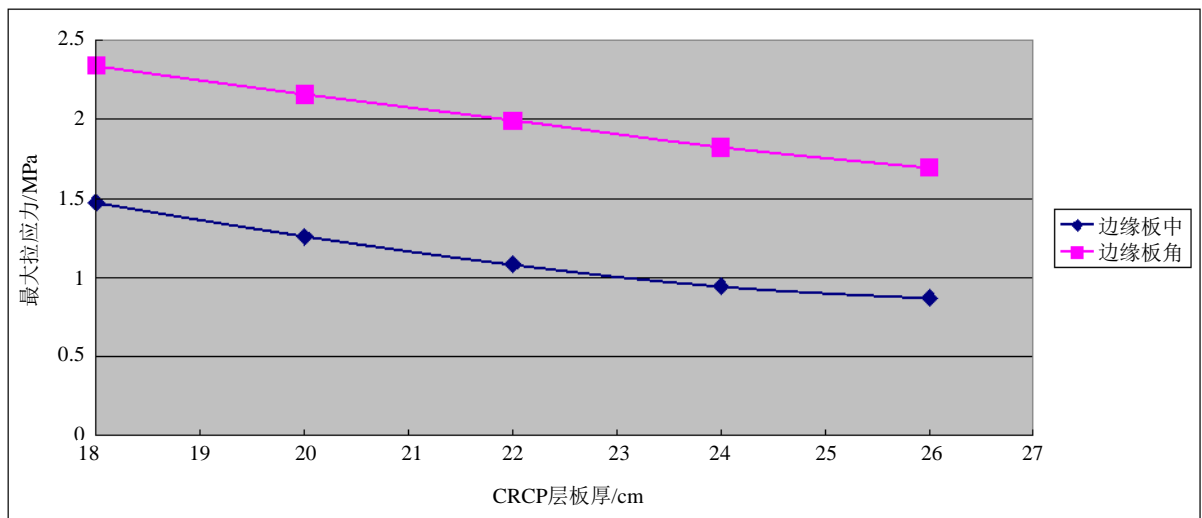


Figure 3. The maximum tensile stress of CRCP slab thickness variation
图 3. 最大拉应力随 CRCP 板厚变化规律

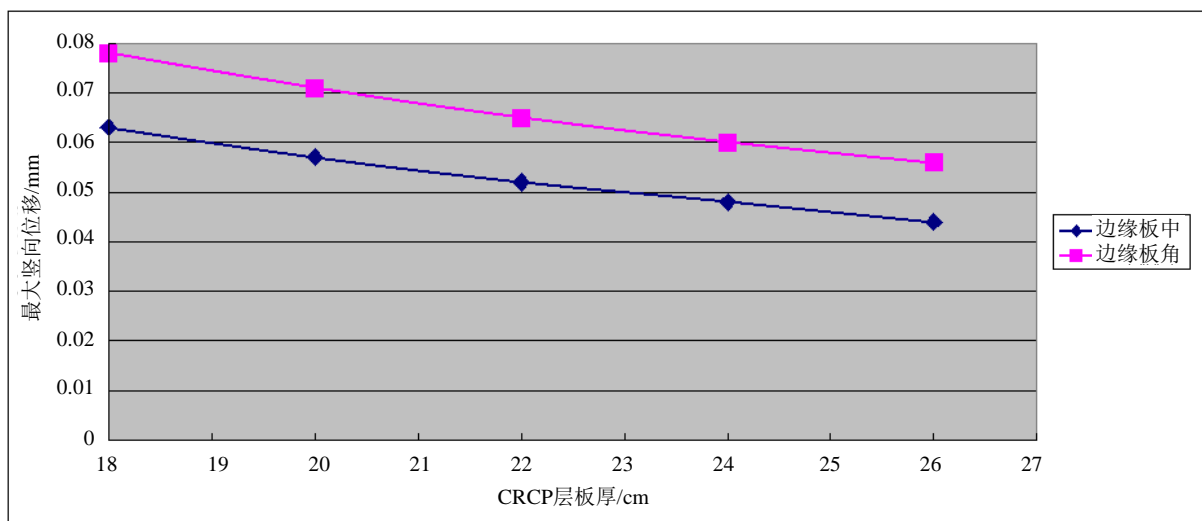


Figure 4. Maximum vertical displacements of CRCP slab thickness variation
图 4. 最大竖向位移随 CRCP 板厚变化规律

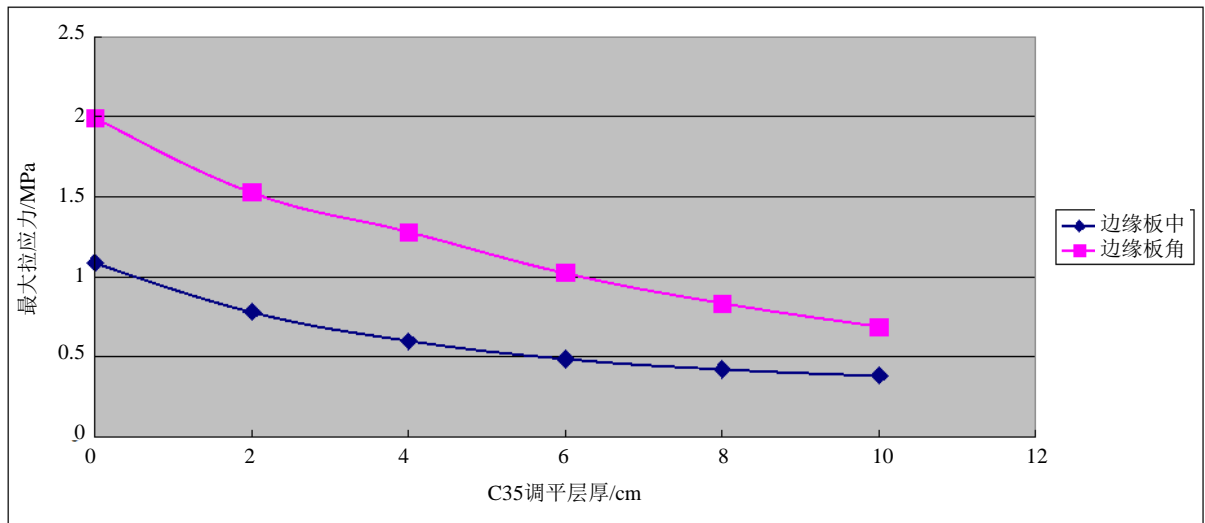


Figure 5. Maximum tensile stress with C35 leveling layer thickness variation

图 5. 最大拉应力随 C35 调平层厚度变化规律

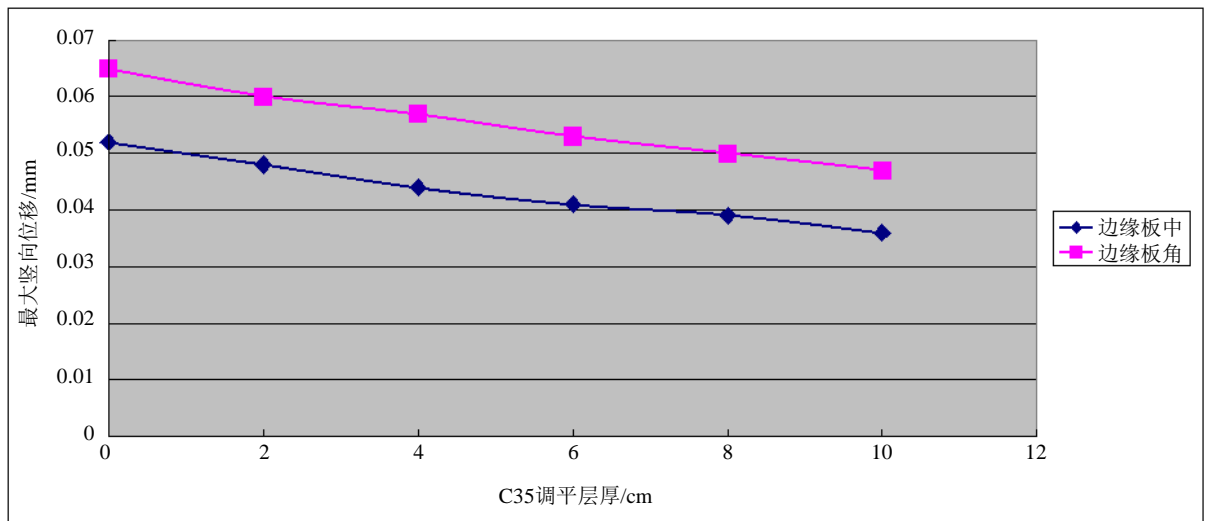


Figure 6. Maximum vertical displacement of the C35 leveling layer thickness variation

图 6. 最大竖向位移随 C35 调平层厚度变化规律

Table 2. The mechanical response calculation results of CRCP plate

表 2. CRCP 板力学响应计算结果

CRCP板厚 (cm)	C35调平层 厚度(cm)	地基反应 模量(MPa)	荷载作用位置			
			边缘板中		边缘板角	
			应力(Mpa)	位移(mm)	应力(Mpa)	位移(mm)
18			1.473	0.063	2.342	0.078
20			1.259	0.057	2.159	0.071
22	0	2400	1.085	0.052	1.992	0.065
24			0.944	0.048	1.823	0.060
26			0.872	0.044	1.695	0.056

Table 3. The mechanical response calculation results of CRCP plate
表 3. CRCP 板力学响应计算结果

CRCP板厚 (cm)	C35调平层 厚度(cm)	地基反应 模量(MPa)	荷载作用位置			
			边缘板中		边缘板角	
			应力(Mpa)	位移(mm)	应力(Mpa)	位移(mm)
22	0	2400	1.085	0.052	1.992	0.065
	2		0.780	0.048	1.526	0.060
	4		0.596	0.044	1.279	0.057
	6		0.484	0.041	1.024	0.053
	8		0.419	0.039	0.830	0.050
	10		0.381	0.036	0.684	0.047

Table 4. The mechanical response calculation results of CRCP plate
表 4. CRCP 板力学响应计算结果

CRCP板厚 (cm)	C35调平层 厚度(cm)	地基反应 模量(MPa)	荷载作用位置			
			边缘板中		边缘板角	
			应力(Mpa)	位移(mm)	应力(Mpa)	位移(mm)
22	0	30	2.558	0.811	4.271	0.981
		90	2.107	0.404	3.671	0.476
		270	1.693	0.201	3.105	0.241
		810	1.360	0.102	2.541	0.124
		2400	1.085	0.052	1.992	0.065

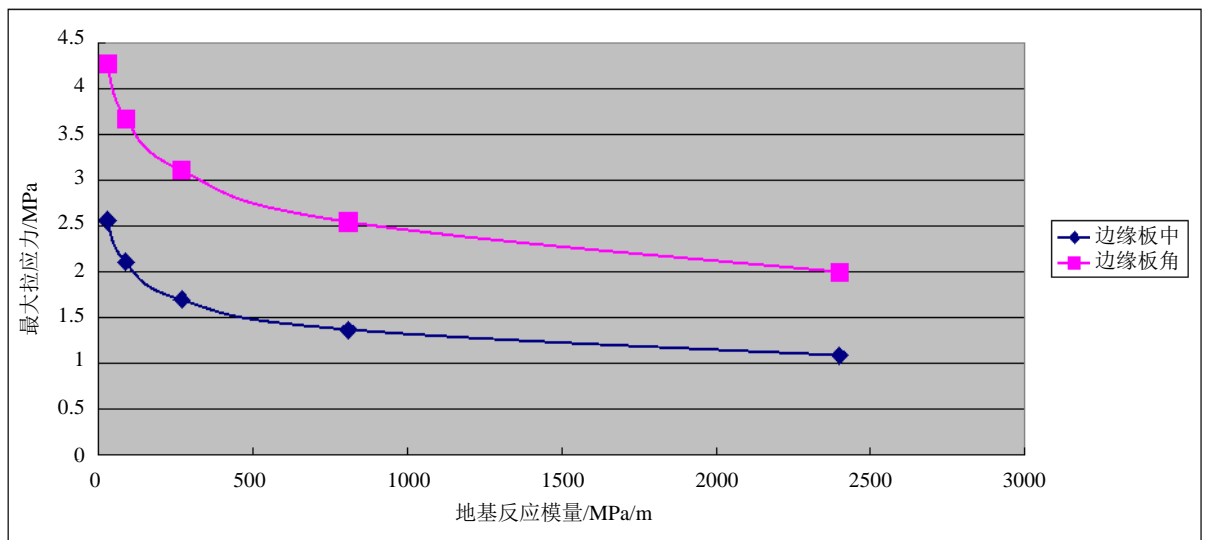


Figure 7. The maximum tensile stress of subgrade reaction modulus changing law
图 7. 最大拉应力随地基反应模量变化规律

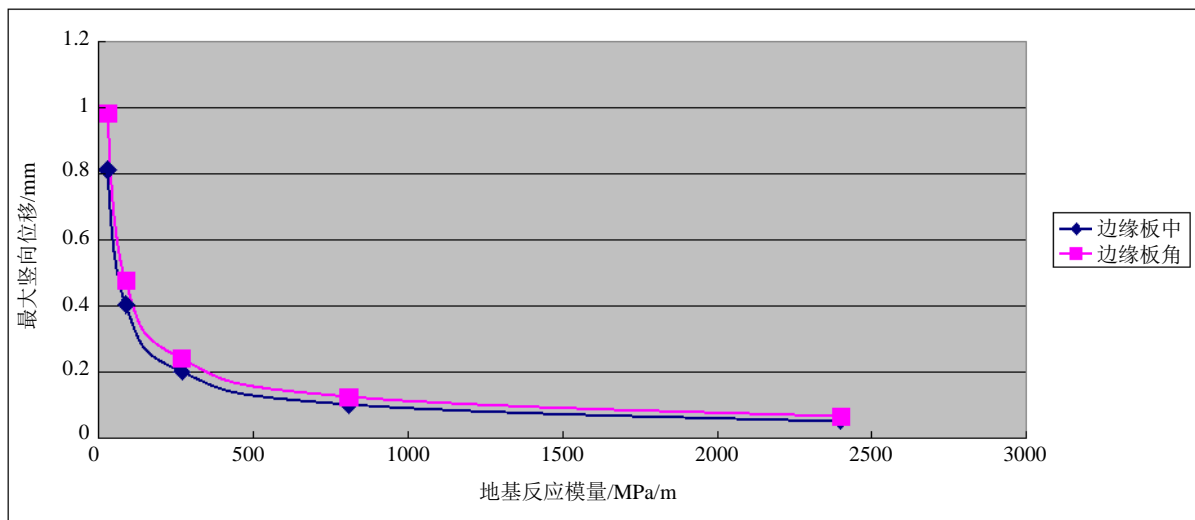


Figure 8. Maximum vertical displacement of soil reaction modulus changing law

图 8. 最大竖向位移随地基反应模量变化规律

4.3. 地基反应模量影响

选取30 MPa/m、90 MPa/m、270 MPa/m、810 MPa/m、2400 MPa/m五种大小的地基反应模量，对比分析地基反应模量对路面结构力学响应的影响。分析中仅调整地基反应模量大小，其他路面结构参数保持不变。

CRCP板的力学响应计算结果如表4所示，变化规律如图7和图8所示。

从以上图表可知：无论荷载作用在边缘板中还是边缘板角位置，随着地基反应模量的增大，CRCP板的最大拉应力和最大竖向位移均明显减小。地基反应模量由30 MPa/m cm增加到2400 MPa/m cm，边缘板中位置的最大拉应力减小了57.6%、最大竖向位移减小了93.6%；边缘板角位置的最大拉应力减小了53.4%、最大竖向位移减小了93.4%。可见增大地基反应模量可以明显减小CRCP层的力学响应。

本次施工，拱上填料以泡沫混凝土替换了一般的填土，使其地基反应模量明显增大，较好的改善了CRCP层的受力状况。

5. 结语

通过调整路面结构系数，包括CRCP层厚度、C35调平层厚度、地基反应模量，进行路面结构响应的参数敏感性分析，发现：

- 1) 增大CRCP板厚可以明显减小CRCP层的力学响应。
- 2) 增大C35调平层的厚度可以明显减小CRCP层的力学响应。
- 3) 增大地基反应模量可以明显减小CRCP层的力学响应，较好的改善了CRCP层的受力状况。

连续配筋水泥混凝土路面(CRCP)是在纵向连续配置足够数量的钢筋，施工时不设接缝的一种高性能混凝土路面结构。以其显著的优点，在交通运输日益大流量、重型化的发展趋势下，应用前景十分广阔。

参考文献 (References)

- [1] 《岩土工程手册》编写委员会 (1994) 岩土工程手册. 中国建筑工业出版社, 北京.
- [2] 徐浩 (2013) 连续配筋混凝土路面 CRCP 荷载应力有限元分析应用研究. 门窗, 9, 179.
- [3] 张军 (2005) 重型车辆与刚性路面结构的动力相互作用理论分析和试验研究. 博士学位论文, 湖南大学, 长沙.